

|                                      |      |              |   |
|--------------------------------------|------|--------------|---|
| (51) Int.Cl. <sup>6</sup>            | 識別記号 | F I          |   |
| G 0 2 B 6/126                        |      | G 0 2 B 6/12 | E |
|                                      | 5/18 |              |   |
|                                      | 6/12 |              |   |
| // G 0 2 B 5/20                      |      |              | F |
| H 0 4 B 10/22                        |      | H 0 4 B 9/00 | A |
| 審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁) 最終頁に続く |      |              |   |

(21) 出願番号 特願平9-206752

(22) 出願日 平成9年(1997) 7月31日

(31) 優先権主張番号 08/691 050

(32) 優先日 1996年8月1日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390023157

ノーザン・テレコム・リミテッド

NORTHERN TELECOM L I  
M I T E Dカナダ国, エイチ2ワイ 3ワイ4, ケベ  
ック, モントリオール, エスティ. アント  
イン ストリート ウェスト 380 ワー  
ルド トレード センタ オブ モントリ  
オール 8フロア

(74) 代理人 弁理士 酒井 宏明

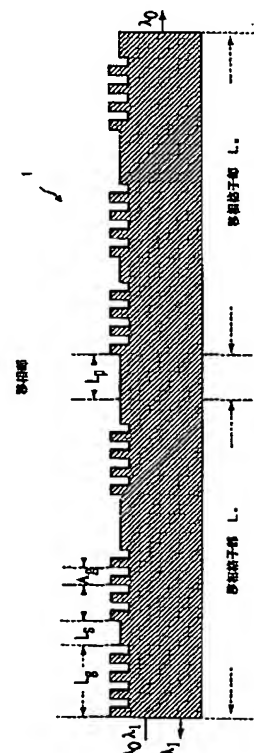
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移相格子構造およびそれを用いた偏光非依存型光共振器フィルタ

(57) 【要約】

【課題】 偏光に対する感度のない狭帯域光共振器フィルタの移相格子構造およびそれを用いた偏光非依存型光共振器フィルタを得ること。

【解決手段】 それぞれ長さ $L_g$ 、格子周期 $\Lambda_g$ で長さ $L_s$ の移相部が挿入されている複数の精密格子部で構成された第1および第2の移相格子部と、第1および第2の移相格子部間に配置された長さ $L_p$ の移相部と、を備え、移相部および格子部の長さ $L$ と格子周期 $\Lambda$ がフィルタの停止帯域の中心で特定の波長 $\lambda_0$ でTEおよびTMモードの伝播定数に合うように決められ、それにより偏光に対する感度を持たない共振器1のフィルタが得られる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ長さ $L_g$ 、格子周期 $\Lambda_g$ で長さ $L_s$ の移相部が挿入されている複数の精密格子部で構成された第1および第2の移相格子部と、  
前記第1および第2の移相格子部間に配置された長さ $L_p$ の移相部と、  
を備え、

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TE} L_p + \Phi_{TE} = (2n_{TE} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (11a)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} L_p + \Phi_{TM} = (2n_{TM} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (11b)$$

によって決められ、ここで、

【数2】

$$\Phi_{TE} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\delta_{TE}}{\left( \sqrt{|\kappa_{TE}(m)|^2 - \delta_{TE}^2(m)} \right)} \tanh \left( \sqrt{|\kappa_{TE}(m)|^2 - \delta_{TE}^2(m)} L_s \right) \right\} \quad (12a)$$

$$\Phi_{TM} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\delta_{TM}}{\left( \sqrt{|\kappa_{TM}(m)|^2 - \delta_{TM}^2(m)} \right)} \tanh \left( \sqrt{|\kappa_{TM}(m)|^2 - \delta_{TM}^2(m)} L_s \right) \right\} \quad (12b)$$

となり、 $n_{TE}$ および $n_{TM}$ が整数であることを特徴とする請求項1に記載の移相格子構造。

【請求項3】 前記格子形状が四角形であり、 $\Lambda_g$ が精密格子の周期であり、 $L_g = g \Lambda_g$ 、 $L_s = s \Lambda_g$ は $\lambda_{TE} = \lambda_{TM} = \lambda_0$ 、 $g = 1 - B/2B$ および $\Lambda_g = 1 + B/1 + (2s - 1) \cdot \lambda_0 / 2N_{TE}$ として、それぞれ任意の標準モード複屈折 $B$ である、

$B = N_{TE} - N_{TM} / N_{TE} + N_{TM}$   
に対する前記格子および移相部の長さであることを特徴とする請求項1に記載の移相格子構造。

$$n_{TM} \approx \frac{1-B}{2B} + \Delta n_{TM} \quad (24)$$

であり、ここで、

【数4】

$$\Delta n_{TM} = \frac{4N_{TE} \tanh(\kappa_{TM} L_s)}{\lambda_0 \kappa_{TM}} B \Delta g - 0.5 \quad (25)$$

であることを特徴とする請求項3に記載の移相格子構造。

【請求項6】 反射素子間の移相の長さが、  
【数5】

$$L_p = \left[ (2n_{TM} + 3) \frac{\pi}{2} - \Phi_{TE} \right] \frac{\lambda_0}{2\pi N_{TE}} \quad (26)$$

によって与えられ、ここで、

【数6】

前記移相部および格子部の長さおよび格子周期がフィルタの停止帯域の中心で特定の波長 $\lambda_0$ でTEおよびTMモードの伝播定数に合うように決められ、それにより偏光に対する感度を持たない共振器フィルタを得ることを特徴とする移相格子構造。

【請求項2】 前記移相マッチング条件が、  
【数1】

【請求項4】 前記格子結合係数が二つの偏光に対して異なっており、パラメータ $s$ が、

$$\kappa_{TE}(g+1) = \kappa_{TM}(g)$$

に従って調整されることを特徴とする請求項3に記載の移相格子構造。

【請求項5】  $\Phi_{TM}$ 、 $\Phi_{TE} \ll 1$ 、 $B \ll 1$ 、および $s \sim 0.5$ とし、任意のモード複屈折 $B$ に対して共振条件が $\Delta g$ および $\Delta \Lambda_g$ を調節することによって満たされ、そして、 $n_{TE} = n_{TM} + 1$ として、

【数3】

$$\Phi_{TE} \approx \frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} \frac{\tanh(\kappa_{TE} L_z)}{\kappa_{TE}} \left\{ -2B^2 \Delta g + [1 + 2(s-1)B] \frac{2N_{TE}}{\lambda_0} \Delta \Lambda_s \right\} \quad (22a)$$

$$\Phi_{TM} \approx \frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} \frac{\tanh(\kappa_{TM} L_z)}{\kappa_{TM}} \left\{ 2B^2 \Delta g + [1 + 2(s-1)B] \frac{2N_{TM}}{\lambda_0} \Delta \Lambda_s \right\} \quad (22b)$$

であり、上記共振器フィルタの全長が  $L = 2L_z + L_p$  で与えられ、ここで  $L_z = n_z (L_g + L_s)$  であり、 $n_z$  は各格子部内の格子の数を示すことを特徴とする請求項5に記載の移相格子構造。

【請求項7】 請求項1に記載されているような移相格子構造によって構成されることを特徴とする偏光非依存型光共振器フィルタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、偏光非依存型光共振器用の位相構造に関するものであり、より具体的には、偏光非依存型光波長フィルタとして適用するための移相格子構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術】狭帯域、調整可能光波長フィルタは波長分割多重化(WDM)伝送システムのためのチャンネル選択およびノイズ・フィルタリング用光通信システムにおける重要な構成部品である。例えば、以下の引例；R. C. Alfernessら、“Narrow band grating resonator filters in InGaAsP/InP waveguides”、Appl. Phys. Lett., vol. 49, pp. 125-127, 1986で検討されているような格子共振器に基づく帯域が非常に狭い光フィルタの可能性が示されている。

【0003】通常、導波路格子共振器フィルタは、例えば、二つの波型反射部、すなわち、相互に  $\pi/2$  ( $\lambda/4$ ) に実効的にシフトされた格子構造を有する導波路により構成されている。この移相は理論的には格子周期のずれ(スリップ)によってもたらすことができるであろうが、実際の寸法の格子の場合、移相は起伏が取り除かれた部分によって達成される。光共振器フィルタは、例えば、Coldrenによる米国特許4,325,038およびHausによる米国特許4,184,131に示される表面音響波フィルタに類似している。

【0004】格子共振器フィルタにおいては、周波数がブラッグ周波数に非常に近接した入射信号は透過されるが、該格子構造の停止帯域内にあるものは反射される。透過型共振器フィルタあるいはブラッグ反射格子は、狭帯域で調整可能、しかもコンパクトであるので魅力的である。

【0005】例えば、狭帯域チャンネル・ドロッピング

・フィルタをつくるための  $\lambda/4$  移相分散型フィードバック共振器と組み合わされた導波路カップラーが、H.

A. HausおよびY. Lai. によって、“Narrow band optical channel dropping filter”, J. Lightwave Technol. Vol. no. 1, pp. 57-61, 1992に述べられている。

【0006】また、M. Levyらは、“Fabrication of narrowband channel-dropping filters”, IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 4, no. 12, pp. 1389-1391, 1992で、上に述べたHausによって提案された、帯域幅が1Åよりかなり狭いチャンネルを選択することができる装置の製造について述べている。

【0007】Tu Numaiらは、“Tunable wavelength filter using  $\lambda/4$  shifted waveguide grating resonators”で、搬送波注入による格子共振器の透過共振波長の調整および二つのチャンネルの切換えについて述べている。

【0008】W-P. Huangらは、“A coupled waveguide grating resonator filter”, IEEE Photonics Technol. Letters, Vol. 4, no. 8, pp. 884-886, 1992で、狭帯域調整可能波長の解析を行っており、導波路の間の結合が強いこと、および、ブラッグ信号が共振により全体的に透過されるという点が、上記のHausらの考えとは異なっている。そのフィルタは、長さ  $L_p$  の移相領域が長さ  $L_1$  および  $L_2$  の二つの反射格子領域間に挿入された格子構造によって構成されている。このフィルタは偏光に対して極めて高い感度を有するものである。

【0009】従来における公知の格子共振器はモード複屈折、偏光依存格子結合およびモード・ロス/ゲインにより、偏光の影響を受ける。フィルタが入力信号の偏光性に対して一定の感度を有する場合、ドロップされるチャンネルの振幅の変化は入力信号の偏光に合わせて変動する。しかしながら、これらの格子素子は反射的であるよりむしろ透過的に作用して、相当する均一反射格子フィルタよりさらに短い長さを製造することができる。

【0010】その他のフィルタ構造は、例えば、“Na

row band Resonant Optical Reflector and Resonant Optical Transformers for Laser Stabilization and Wavelength Division Multiplexing", IEEE J. Quantum Electron. Vol. QE-23, no. 9, 1987という論文に述べられており、Kazarinovらは、ブラッグ反射素子の停止帯域での共振器モードが二つのブラッグ反射素子間のギャップによって決定されることを示すためにブラッグ共振器の解析を行なった。分散フィードバック(DFB)レーザの波長調整用反射素子は、Tohmoriらによる米国特許5,325,392に開示されている。

【0011】偏光に対する感度を持たないフィルタを必要とする装置に関しては、偏光非依存型光波長選択性カプラがAlfernessらによる欧州特許出願No. 0678 861 A1に開示されている。この構造においては、二重周期格子、すなわち、わずかに異なる周期を持つ二つの格子の組み合わせと相等のものがTEおよびTM偏光モードの伝播定数の差に対応するように選択されているので、両方のモードが同じ波長で結合されている。これは均一な格子間隔の間の180°の遷移(transition)を含む二重周期格子によって達成される。

【0012】移相格子構造に基づく偏光非依存型ブラッグ反射素子は、本願の発明者らによりIEEE J. Lightwave Technologyに公開予定の“APolarization independent distributed Bragg reflector on phase shifted grating structures”という表題の論文で

提案され、解析されている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、後者の格子フィルタの帯域幅が多くの装置にとって広すぎるので、停止帯域幅の一部分である帯域幅を提供するために共振器フィルタが必要になる。

【0014】その結果、共振器フィルタの公知の設計では、狭帯域と偏光に対する非感度の両方は提供されない。

【0015】この発明は、上記の課題を解決するためになされたもので、偏光に対する感度のない狭帯域光共振器フィルタの移相格子構造およびそれを用いた偏光非依存型光共振器フィルタを得ることを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】この発明の一つの側面によれば、偏光に対する感度のない格子共振器フィルタ用の移相格子構造が提供される。この共振器は、それぞれ格子周期 $\Lambda_g$ 、長さ $L_g$ の移相格子部分を有する格子部分でできた第1および第2の移相格子部分で構成され、長さ $L_p$ の移相部分は第1および第2の移相格子部分の間に配置されている。

【0017】格子の長さ $L_p$ 、 $L_g$ 、 $L_s$ および格子周期 $\Lambda_g$ を含む格子構造の寸法は、フィルタの応答が偏光に対する感度がなく、しかも狭帯域を提供するよう決められる。すなわち、格子構造は停止帯域の中央の特定波長 $\lambda_0$ でTEとTMモード両方に対する伝播定数に合うように設計される。

【0018】具体的には、格子構造の寸法は、以下の式により定義される。

【0019】

【数7】

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TE} L_p + \Phi_{TE} = (2n_{TE} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (11a)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} L_p + \Phi_{TM} = (2n_{TM} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (11b)$$

【0020】

【数8】

$$\Phi_{TE} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\delta_{TE}}{\left( \sqrt{|\kappa_{TE}(m)|^2 - \delta_{TE}^2(m)} \right)} \tanh \left( \sqrt{|\kappa_{TE}(m)|^2 - \delta_{TE}^2(m)} L_s \right) \right\} \quad (12a)$$

$$\Phi_{TM} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\delta_{TM}}{\left( \sqrt{|\kappa_{TM}(m)|^2 - \delta_{TM}^2(m)} \right)} \tanh \left( \sqrt{|\kappa_{TM}(m)|^2 - \delta_{TM}^2(m)} L_s \right) \right\} \quad (12b)$$

【0021】これらの式で $n_{TE}$ および $n_{TM}$ は整数である。

【0022】一つの近似式を作ることによって、狭帯域、偏光非感度格子共振器フィルタのために必要な格子構造、すなわち、長さおよび格子周期に関する解析解が求められる。

【0023】 $L_g$ 、 $L_s$  および  $L_p$  を求めるためには、以下のパラメータ、すなわち、波長 $\lambda_0$ 、TEモードの実効屈折率 $N_{TE}$ およびTMモードの実効屈折率 $N_{TM}$ を知る必要がある。これらのパラメータが与えられると、素子の断面部が得られる。

【0024】すなわち、 $B$ の値が式(16)  $B = N_{TE} - N_{TM} / (N_{TE} + N_{TM})$  から計算され、ついで、 $g$ が式(1

$$n_{TM} \approx \frac{1-B}{2B} + \Delta n_{TM} \quad (24)$$

を用いると

【0027】

$$\Delta n_{TM} = \frac{4N_{TE}}{\lambda_0} \frac{\tanh(\kappa_{TM} L_z)}{\kappa_{TM}} B \Delta g - 0.5 \quad (25)$$

となる。

【0028】最適な設計をするために、 $\Delta g$ が式(25)の右辺が整数値に近くなるように変えられる。 $\Delta g$ および $\Delta \Lambda_g$ は例えば図5から選択される。そうすれば

$$L_p = \left[ (2n_{TM} + 3) \frac{\pi}{2} - \Phi_{TE} \right] \frac{\lambda_0}{2\pi n_{TE}} \quad (26)$$

【0030】 $n_{TM}$ を与えられた定数とすれば、 $\Delta \Lambda_g$ の増加は $\Phi_{TE}$ の増加と $L_p$ の減少を含んでいる。従って、式(25)は $\Delta \Lambda_g$ から独立しており、装置全長は、 $L = 2L_z + L_p$

となり、 $L_z = n_z (L_g + L_s)$  および  $n_z$  は、各格子部の格子数を表している。

【0031】最適化手順によりこれらの式の解が求められる。準TEおよびTMモードに対する $\lambda_0$ からの停止帯域のシフトは $|\Delta g|$ に直接比例するため、好ましくは調整可能な最大範囲をもたらす $\Delta g$ より小さい値が選択される。

【0032】特に、提案されている移相格子共振器に基づく偏光非依存型超狭帯域フィルタ用格子の二つの実例は、共通パラメータを $N_{TE} = 3.25$ 、 $K_{TE}^0 = 100^{-1}$ 、 $\lambda_0 = 1.55 \mu m$ として、以下のパラメータで与えられる。ここに述べられている設計原理から、実例Aにおいては、標準された複屈折 $B = 2.0 \times 10^{-3}$ に対して、寸法は、 $g = 245$ 、 $\Lambda_g = 0.2389 \mu m$ 、 $L_s = 0.1197 \mu m$ 、 $L_g = 58.5395 \mu m$ 、 $L_p = 62.60231 \mu m$ 、 $\Delta g = 4.5$ 、 $n_{TM} = 261$ 、 $m = 8$ 、 $L = 1.011 mm$ であり、実例Bでは、標準された複屈折 $B = 4.0 \times 10^{-3}$ に対して、寸法は、 $g = 121$ 、 $\Lambda_g = 0.2394 \mu m$ 、 $L_g = 28.9696 \mu m$ 、 $L_s = 0.1202 \mu m$ 、 $L_p = 34.4711 \mu m$ 、 $\Delta g = 3.5$ 、 $n_{TM} = 143$ 、 $m$

4)  $g = 1 - B / 2B$ より計算される。ついで $\Lambda_g = 1 + B / (1 + (2s - 1) \cdot \lambda_0 / 2N_{TE})$  (式(15))が計算できるように式(17)  $K_{TE}(g + 1) = K_{TM}(g)$ の関係を用いて、パラメータ $s$ を得ることができる。

【0025】 $s$ および $g$ および $\Lambda_g$ が与えられると、 $L_s = s \Lambda_g$ 、 $L_g = g \Lambda_g$  および  $L_z = n_z (L_g + L_s)$  となり、 $n_z$ は整数値で、設計者が選択することができる。

【0026】近似式である、

【数9】

【数10】

$\Phi_{TE}$ が式(22b)から決めることができる。反射素子間の移相部の長さは式(26)で与えられる。

【0029】

【数11】

$= 16$ 、 $L = 0.9653 m$ であった。

【0033】これらの寸法でつくられた共振器フィルタの解析結果は、そのスペクトル応答が狭帯域および偏光に対して感度を示さないことにより特徴づけられることを示している。 $\Delta g > 0$ であるので、TEモードの停止帯域は波長が短い方にシフトし、一方、TMモードの停止帯域は波長が長い方にシフトする。両方の実例において、二つの偏光に対して停止帯域が明確に区別できないことは、作動波長 $\lambda_0 = 155 \mu m$ として、ほとんど同じ停止帯域が実現された。

【0034】調整可能であることは、フィルタに対して望まれるもう一つの特徴である。偏光非依存型独立共振器フィルタに対して可能な調整範囲は、準TEおよびTMモードの通常の停止帯域により限定される。上に述べた実例の場合、帯域3 dBの範囲に対して可能な調整可能範囲の比として定義される標準調整範囲は、実例Aにおいては180程度、実例Bにおいては120程度である。調整可能性の向上は、格子構造の屈折率を変えるための搬送波注入によってもたらされる。

【0035】以上のことから、狭帯域で偏光に対する感度をもたない共振器が提供されることになる。

【0036】

【発明の実施の形態】以下、この発明に係る移相格子構造およびそれを用いた偏光非依存型光共振器フィルタの実施の形態を添付の図を参照して詳細に説明する。

【0037】この発明に係る実施の形態による共振器フィルタの格子構造が、図1に図式的に示されており、偏光に対して感度を持たない移相格子構造によって構成されている。この共振器1はそれぞれ長さ $L_g$ 、格子周期 $\Lambda_g$ で長さ $L_s$ の移相部が挿入された第1および第2の移相格子部によって構成されている。長さ $L_p$ の他の移相部は、第1と第2の移相格子の間に配置されている。

【0038】格子の長さ $L_p$ 、 $L_g$ 、 $L_s$ および格子 $\Lambda_g$ を含む格子構造の寸法はそのフィルタの応答が偏光の影響を受けず、狭帯域をもたらすように決められる。すなわち、格子構造はTEおよびTMの両方のモードの伝播定数が停止帯域の中央で同じ波長 $\lambda_0$ で合致するように設計される。

【0039】上記格子構造の寸法は、以下に詳細に述べるような設計原理によって定義される。導出された式を用いて、この実施の形態による格子構造の二つの実例に関する物理的寸法が、以下で述べられるように決められた。

【0040】その結果、この実施の形態による移相格子共振器1に基づく二つの偏光非依存型超狭帯域フィルタが、以下の共通パラメータ、すなわち、TEモードでの屈折率 $n_{TE}=3.25$ 、結合係数 $K^0_{TE}=100\text{ cm}^{-1}$ 、および中心波長 $\lambda_0=1.55\mu\text{m}$ を用いて設計された。

【0041】従って、上記設計原理によれば、標準複屈折 $B=2.0\times 10^{-3}$ に対して、格子の寸法は $g=245$ 、 $\Lambda_g=0.2389\mu\text{m}$ 、 $L_g=0.1197\mu\text{m}$ 、 $L_s=58.5395\mu\text{m}$ 、 $L_p=62.60231\mu\text{m}$ 、 $\Delta g=4.5$ 、 $n_{TM}=261$ 、 $m=8$ および $L=1.011\text{mm}$ であった。

【0042】実例Bの場合、格子寸法は $m=121$ 、 $\Lambda_g=0.2394\mu\text{m}$ 、 $L_g=28.9696\mu\text{m}$ 、 $L_s=0.1202\mu\text{m}$ 、 $L_p=34.4711\mu\text{m}$ 、 $\Delta g=3.5$ 、 $n_{TM}=143$ 、 $m=16$ および $L=0.9653\text{mm}$ であった。

【0043】単純化のために、ロスなしの場合、すなわち、 $K^0_{TM}=K^0_{TE}$ を想定した。図7は、実例AおよびBの準TEおよびTMモードの送信出力でのスペクトル応答を示している。 $\Delta g>0$ であるから、TEモードでの停止帯域はより短い波長の方向にシフトされているの

に対して、TMモードのそれは図7に示すようにより長い波長の方にシフトされている。両方の偏光に対して、作動波長の中心で、二つの偏光のためのほとんど同じ停止帯域が実現されていることが観察される。

【0044】調整可能性は、上記フィルタのもう一つの望ましい特徴である。偏光非依存型共振器フィルタのために可能な調整範囲は準TEおよびTMモードの共通停止帯域によって限定される。上に示した実例の場合、3dB帯域に対する調整可能範囲の比率として定義される標準化調整可能範囲は実例Aの場合、180程度、実例Bで120程度であった。図8(a)および図8(b)は搬送波注入によって実現される実効屈折率変化に伴う共振波長近くでのスペクトル応答を示している。すなわち、フィルタに搬送波が注入されると、プラズマ効果で実効屈折率が低下し、従って透過共振波長がより短い波長の方にシフトする。

【0045】(設計原理) 実例の格子およびレーザ設計における調整範囲を拡大するための超構造格子の設計原理についてはV. Jayaramanらによって、“Theory, design, and performance of extended turning range semiconductor lasers with sampled grating”, IEEE J. Quantum Electron. vol. 29, no. 6, pp. 1824-1834, 1993において、また、H. Ishiiらによって“Super structure grating (SSG) for broadky tunable DBR lasers”, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 4, no. 4, pp. 393-395, 1993において検討されている。

【0046】この作業で、設計原理は調整範囲の拡大ではなく、むしろ格子共振器フィルタ設計の偏光非依存性を達成するために拡張されている。

【0047】この設計の目的は、図1に示すような $L_g$ 、 $L_s$ および $L_p$ を求めることである。

【0048】(論理式) 格子での前方および後方モードの強度を支配する結合モード式は、

【数12】

$$\frac{dF_n}{dz} = -j\delta_n(m)F_n - j\kappa_n(+m)B_n \quad (1a)$$

$$\frac{dB_n}{dz} = j\delta_n(m)B_n + j\kappa_n(-m)F_n \quad (1b)$$

であり、ここで $n$ は準TEおよびTMモードに対応しており、 $m$ は空間高調波の次数 (order) である。

【0049】離調ファクターは、  
【数13】

$$\delta_n(m) = \frac{2\pi}{\lambda} N_n - \frac{m\pi}{(g+s)\Lambda_g} \quad (2)$$

で定義され、ここで $N_n$ は準TEまたはTMモードの実効屈折率である。 $\lambda$ は作動波長である。

【0050】結合係数は、  
【数14】

$$\kappa_n(m) = (-1)^m \frac{1}{2m} \tan \left[ \frac{m\pi}{2(g+s)} \right] \sin \left[ \frac{m\pi}{(g+s)} \right] \kappa_n^0 \quad (3)$$

であたえられ、ここで $\kappa_n^0$ は移相領域（すなわち、 $S=0$ および $m=1$ ）が不在の場合の格子による結合係数である。

【0051】横方向電界だけが考えられる準ベクトル近似では、 $\kappa_n^0$ は、  
【数15】

$$\kappa_{TE}^0 = j \frac{\omega \epsilon_0}{2\pi} \int \Delta n^2(x, y) E_{TE} \cdot E_{TE}^* da \quad (4a)$$

$$\kappa_{TM}^0 = j \frac{\omega \epsilon_0}{2\pi} \int \Delta n^2(x, y) \frac{\bar{n}^2}{n^2} E_{TM} \cdot E_{TM}^* da \quad (4b)$$

と表すことができ、ここで $n$ および $\bar{n}$ は格子がある場合と、ない場合の屈折率であり、 $\Delta n$ は格子摂動を示している。

【0052】式(1)～(4)の導出において、基準導波路は自己結合係数がなくなるように選ばれた。こうした選択によって、装置の原理を示す単純ではあるが正確な式が得られる。

【0053】単純さのために、格子形状は四角形である

$$F_n(z) = M_n(z)F_n(0) + N_n(z)B_n(0) \quad (5a)$$

$$B_n(z) = N_n(z)F_n(0) + M_n^*(z)B_n(0) \quad (5a)$$

で示され、ここで、

【数17】

$$M_n = \cosh(Q_n z) - j \frac{\delta_n}{Q_n} \sinh(Q_n z) \quad (6a)$$

$$N_n = \frac{|\kappa_n(m)|}{Q_n} \sinh(Q_n z) \quad (6b)$$

および

【数18】

$$Q_n = \sqrt{|\kappa_n(m)|^2 - \delta_n^2(m)} \quad (7)$$

となる。

【0055】二つの移相格子部は等しい長さ $L_z$ を有し

ており、前方および後方波の強度は、  
【数19】

$$A_n(2L_z + L_p) = \bar{M}_n F_n(0) + \bar{N}_n B_n(0) \quad (8a)$$

$$B_n(2L_z + L_p) = \bar{N}_n F_n(0) + \bar{M}_n B_n(0) \quad (8b)$$

で表され、ここで、

【数20】

$$\bar{M}_n = M_n^2 \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} N_n L_p\right) + N_n^2 \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} N_n L_p\right) \quad (9a)$$

$$\bar{N}_n = 2N_n \Re\left\{M_n \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} N_n L_p\right)\right\} \quad (9b)$$

となる。

【0056】格子共振器のための格子条件は式(8)お

よび式(9)から求めることができる。

【数21】

$$\Re\left\{M_n \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} N_n L_p\right)\right\} = 0 \quad (10)$$

【0057】より具体的には、この条件は、

【数22】

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TE} L_p + \Phi_{TE} = (2n_{TE} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (11a)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} L_p + \Phi_{TM} = (2n_{TM} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (11b)$$

としても表現することができ、

【数23】

$$\Phi_{TE} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\delta_{TE}}{\left( \sqrt{|\kappa_{TE}(m)|^2 - \delta_{TE}^2(m)} \right)} \tanh \left( \sqrt{|\kappa_{TE}(m)|^2 - \delta_{TE}^2(m)} L_t \right) \right\} \quad (12a)$$

$$\Phi_{TM} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\delta_{TM}}{\left( \sqrt{|\kappa_{TM}(m)|^2 - \delta_{TM}^2(m)} \right)} \tanh \left( \sqrt{|\kappa_{TM}(m)|^2 - \delta_{TM}^2(m)} L_t \right) \right\} \quad (12b)$$

となり、 $n_{TE}$ および $n_{TM}$ は整数である。偏光非依存型格子共振器を実現するためには、式(11a)と式(11b)の共振条件を同時に満たす必要がある。

【0058】このように、図1に示すような上記実施の形態1による移相格子構造のためには、周期的に挿入される移相部 $L_s$ が最初の周期格子を調整し、したがって多重ピークを有するスペクトルをつくりだす。各ピーク

は導波路に沿った指数振動のフーリエ級数における空間高調波に対応している。

【0059】図2の $s=0.5$ および $g=300$ に示されているようにフーリエ拡張においては二つの主要空間高調波、 $m=g$ および $g+1$ が存在している。これらの主要高調波のスペクトル位置は、

【数24】

$$\delta_{TE}(g+1) = \frac{2\pi}{\lambda_{TE}} N_{TE} - \frac{(g+1)\pi}{(g+s)\Lambda_s} = 0 \quad (13a)$$

$$\delta_{TM}(g) = \frac{2\pi}{\lambda_{TM}} N_{TM} - \frac{g\pi}{(g+s)\Lambda_s} = 0 \quad (13b)$$

で示されるような位相マッチング条件によって変化する場合がある。

【0060】理想的には、このフィルタは図3(a)に図式的に示すように、フィルタ作動波長 $\lambda_0$ を中心として二つの偏光のための共通停止帯域を提供する。

【0061】 $\lambda_{TE} = \lambda_{TM} = \lambda_0$ と仮定し、式(13a)

および(13b)によって与えられる位相マッチング条件を用いることによって、

【数25】

$$g = \frac{1-B}{2B} \quad (14)$$

【数26】



$$\Lambda_s = \frac{1+B}{1+(2s-1)} \frac{\lambda_0}{2N_{TE}} \quad (15)$$

が得られ、ここで、

$$B = \frac{N_{TE} - N_{TM}}{N_{TE} + N_{TM}} \quad (16)$$

は標準モード複屈折である。

【0062】格子結合係数は上記二つの偏光に対して違っており、パラメータ  $s$  は、

【数28】

$$\kappa_{TE}(g+1) = \kappa_{TM}(g) \quad (17)$$

にしたがって調節できる。任意のモード複屈折  $B$  に対して、式(14)、式(15)、式(16)および式(17)を用いて移相格子を定義し、偏光非依存型ブラッグ反射素子を求めることができる。

【0063】モード複屈折  $B$  は波長設計で制御調節でき、したがって式(14)で  $g$  の整数値をつくることができる。こうした状況で、真に偏光に依存しないブラッグ反射素子を実現することができる。あるいは、 $g$  を  $1 - B/2B$  に最も近い整数として定義し、式(14)

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TE} L_P = (2n_{TE} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (19a)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} L_P = (2n_{TM} + 1) \frac{\pi}{2} \quad (19b)$$

となる。

【0065】式(16)および式(18)を用いること

$$n_{TM} = (n_{TE} - n_{TM})g + (n_{TE} - n_{TM})\delta g - 0.5 \quad (20)$$

が求められる。

【0066】 $\delta g$  がゼロの場合、 $n_{TM} = (n_{TE} - n_{TM})g - 0.5$  となり、TE および TM モードのための全体的移相は  $\pi$  の整数倍となり、これは非共振条件である。従って、理論的な観点からすると、二つの偏光のための共通停止帯域の中心で動作する移相格子反射素子に基づく偏光非依存型共振器フィルタを実現することは不可能である。

【0067】この困難を克服するためのひとつの解決方は、図3(b)に図式的に示されているように、二つの偏光の停止帯域の中心からシフトされた波長で式(1

【数27】

を、

【数29】

$$g + \delta g = \frac{1-B}{2B} \quad (18)$$

と書き直すことができるが、ここで  $\delta g$  はもっぱら  $B$  および  $|\delta g| \leq 0.5$  によって決められる誤差を示している。したがって、これら二つの偏光に対する停止帯域の中心間には一定のずれが存在する。図4は  $B$  の関数としてのこれら二つの偏光間の相対的な波長ずれを示している。予想されるように、 $B$  が  $1 - B/2B$  の整数値に対応する場合はいつでもこのずれは消滅し、その最大値はモード複屈折の減少に合わせて減少する。

【0064】Bragg の条件では、式(11)の共振条件は、

【数30】

によって、式(19)から、

【数31】

1) の共振条件を実現することである。

【0068】そうするためには、 $g$  および  $\Lambda_g$  などのパラメータを変更することができる。波長シフトが小さいと仮定すれば、すなわち、 $B \ll 1$ 、 $s \sim 0.5$  および、

【数32】

$$\frac{\lambda_0}{N_i} \frac{dN_i}{d\lambda} \bigg|_{\lambda_0} \ll 1 (i = TE, TM)$$

と仮定して、

【数33】

$$\frac{\Delta\lambda_{TE}}{\lambda_0} \approx -2B^2\Delta g + [1 + 2(s-1)B] \frac{2N_{TE}}{\lambda_0} \Delta\Lambda_s \quad (21a)$$

$$\frac{\Delta\lambda_{TM}}{\lambda_0} \approx 2B^2\Delta g + [1 + 2(s-1)B] \frac{2N_{TE}}{\lambda_0} \Delta\Lambda_s \quad (21b)$$

の位相マッチング条件から導き出すことができ、ここ

で、 $g$  ( $\lambda_0$  および  $\Lambda_g$  に対する格子の数) における変

化に対応するために $\Delta g$ を用いている。

【0069】したがって、 $\Delta g$ は整数および少数の両方の成分を含んでいる。 $\Delta g$ がTEおよびTMモードを同じ程度で反対側にシフトさせるのに対して、格子周期 $\Lambda_g$ は停止帯域への共通のシフトを起こさせるだけであることは示唆的である。図5(a)および図5(b)はそ

れぞれ $\Delta g$ および $\Delta \Lambda_g$ の関数としての中心波長のシフトを示している。

【0070】二つの偏光に関して、 $\Delta g$ および $\Delta \Lambda_g$ で起こされる位相変化は、

【数34】

$$\Phi_{TE} \approx \frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} \frac{\tanh(\kappa_{TE} L_z)}{\kappa_{TE}} \left\{ -2B^2 \Delta g + [1 + 2(s-1)B] \frac{2N_{TE}}{\lambda_0} \Delta \Lambda_g \right\} \quad (22a)$$

$$\Phi_{TM} \approx \frac{2\pi}{\lambda_0} N_{TM} \frac{\tanh(\kappa_{TM} L_z)}{\kappa_{TM}} \left\{ 2B^2 \Delta g + [1 + 2(s-1)B] \frac{2N_{TM}}{\lambda_0} \Delta \Lambda_g \right\} \quad (22b)$$

として表現することができる。

【0071】式(22)の導出においては式(21)が用いられたが、 $\Phi_{TM}$ 、 $\Phi_{TE} \ll 1$ および $B \ll 1$ 、そして $s \sim 0.5$ と仮定された。したがって、任意のモード複屈折 $B$ に関して、 $\Delta g$ および $\Delta \Lambda_g$ を調節することで共振条件(11)を満足するすることができる。

$$n_{TE} \approx \frac{1-B}{2B} + \Delta n_{TM} \quad (24)$$

を導き出すが、ここで、

【0072】単純化のために、

$$n_{TE} = n_{TM} + 1 \quad (23)$$

を想定し、式(11)、(22)、および(23)から、

【数35】

$$\Delta n_{TM} = \frac{4N_{TE}}{\lambda_0} \frac{\tanh(\kappa_{TM} L_z)}{\kappa_{TM}} B \Delta g - 0.5 \quad (25)$$

となる。

【0073】最適設計のためには、 $\Delta g$ を変えて、式(25)の右辺を整数に近くすることができる。上に述べたように、 $\Delta g$ の少数部分は整数部分だけが自由なパラメータとして作用するように $B$ によって決められている。この最適化手順においていくつかの $\Delta g$ を求めることができる。しかしながら、 $|\Delta g|$ は図5に示される

ように準TEおよびTMモードに対する $\lambda_0$ からの停止帯域のシフトと直接比例している。最大調整可能範囲を実現するためには、できるだけ小さな $|\Delta g|$ を選択するのが望ましい。図6は $|\Delta g|$ の関数としての $\Delta n_{TM}$ の変差を示している。

【0074】最後に、反射素子間の移相の長さは、

【数37】

$$L_p = \left[ (2n_{TM} + 3) \frac{\pi}{2} - \Phi_{TE} \right] \frac{\lambda_0}{2\pi N_{TE}} \quad (26)$$

となる。なお、 $\Delta \Lambda_g$ の増大は、 $n_{TM}$ を任意の定数として、 $\Phi_{TE}$ の増加と $L_p$ の減少をもたらす。したがって、式(25)は $\Delta \Lambda_g$ とは無関係とすることができる。

【0075】共振器フィルタの全長は、

$$L = 2L_z + L_p \quad (27)$$

であり、ここで $L_g = n_z (L_g + L_s)$ であり、 $n_z$ は各格子部内の格子の数である。

【0076】要約すると、移相格子で構成される偏光非依存型格子共振器を設計するためには、設計の目的は図1に示されているように、 $L_g$ 、 $L_s$ および $L_p$ を求めることである。以下のパラメータを知る必要がある。 $\lambda_0$ ：波長、 $N_{TE}$ ：TEモードの実効屈折率、および $N_{TM}$ はTMモードの実効屈折率である。これらのパラメータが与えられると、装置の断面が得られる。

【0077】すなわち、 $B$ の値は式(16)  $B = N_{TE} - N_{TM} / N_{TE} + N_{TM}$ から計算することができ、その場合、 $g$ は式(14)、すなわち、 $g = 1 - B / 2B$ から計算することができる。そうすると、 $\Lambda_g = 1 + B / 1 + (2s-1) \cdot \lambda_0 / 2N_{TE}$ が計算できるように式(17)、 $K_{TE}(g+1) = K_{TM}(g)$ を用いて、パラメータ $s$ を得ることができる。 $s$ と $g$ と $\Lambda_g$ が与えられると、 $L_s = s \Lambda_g$ 、 $L_g = g \Lambda_g$ および $L_z = n_z (L_g + L_s)$ となり、ここで $n_z$ は整数であり、設計者が指定できる。

【0078】最適設計で、 $\Delta g$ は式(25)の $\Delta n_{TM}$ を整数に近づけるように変えられる。 $\Delta g$ および $\Delta \Lambda_g$ は図5から選択することができる。 $\Phi_{TE}$ は式(22b)によって決めることができるので、式26から、長さ $L_p$

を求めることができ、すなわち、

【数38】

$$L_p = \left[ (2n_{TM} + 3) \frac{\pi}{2} - \Phi_{TE} \right] \frac{\lambda_0}{2\pi N_{TE}}$$

となる。従って、装置の全長は  $L = 2L_z + L_p$  となる。

【0079】

【発明の効果】以上説明したとおり、この発明に係る移相格子構造およびそれを用いた偏光非依存型光共振器フィルタによれば、偏光に対する感度の低い狭帯域光共振器フィルタの移相格子構造およびそれを用いた偏光非依存型光共振器フィルタを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、この発明に係る実施の形態1による移相格子共振器を示す断面図である。

【図2】図2は、図1に示した格子共振器間の異なった空間高調波の相対強度を示すグラフである。

【図3】図3(a)および図3(b)は、それぞれTEおよびTMモードの偏光依存性を示す理想的なフィルタ応答と実際のフィルタ応答のための波長の関数としての出力スペクトルの比較を示すグラフである。

【図4】図4は、移相格子反射素子に対する複屈折Bの標準モデルの関数として、相対的中心波長シフト  $|\delta\lambda_0/\lambda_0|$  を示すグラフである。

【図5】図5は、移相共振器の共振波長シフトを示すグラフであり、図5(a)は  $\Delta g$  の関数として相対シフトを示しており、図5(b)は  $\Delta n_g$  の関数としての相対シフトを示している。

【図6】図6は、 $\Delta g$  の関数として  $\Delta n_{TM}$  の変化を示すグラフである。

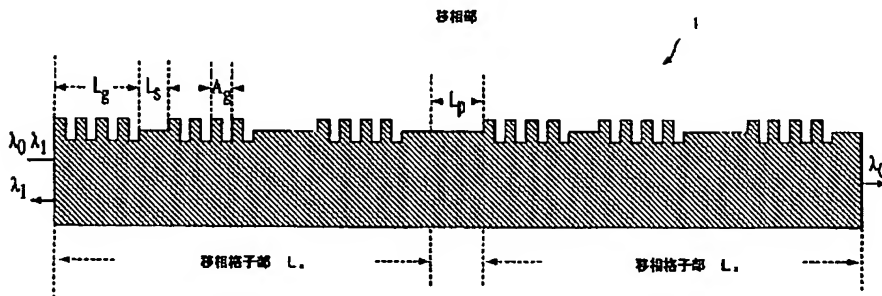
【図7】図7は、この実施の形態による移相格子共振器の二つの実例における応答スペクトルを示すグラフであり、図7(a)では、 $g=245$ 、 $\Delta g=4.5$  および  $\Delta n_{TM}=143$  であり、図7(b)では  $g=121$ 、 $\Delta g=3.5$  および  $\Delta n_{TM}=143$  になっている。

【図8】図8は、実効屈折率変化による共振器波長の近でのスペクトル応答を示すグラフであり、図8(a)は図7(a)に示すようなパラメータを有する格子、図8(b)は図7(b)に示すようなパラメータを有する格子をそれぞれ示している。

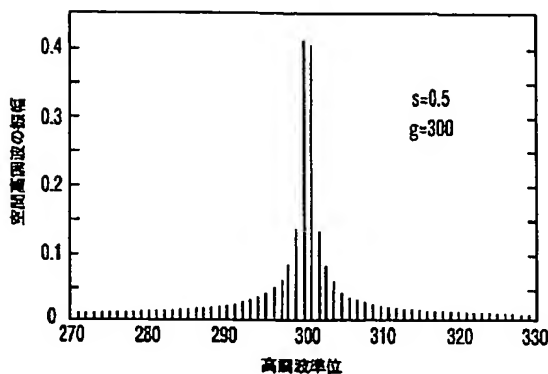
【符号の説明】

1 移相格子共振器

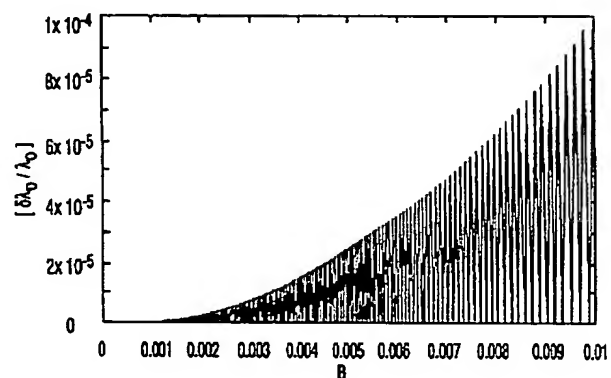
【図1】



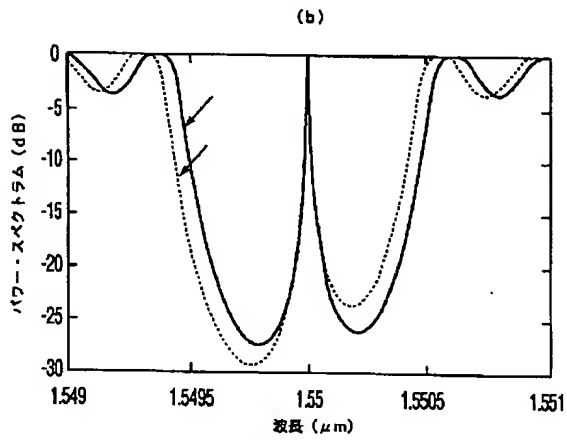
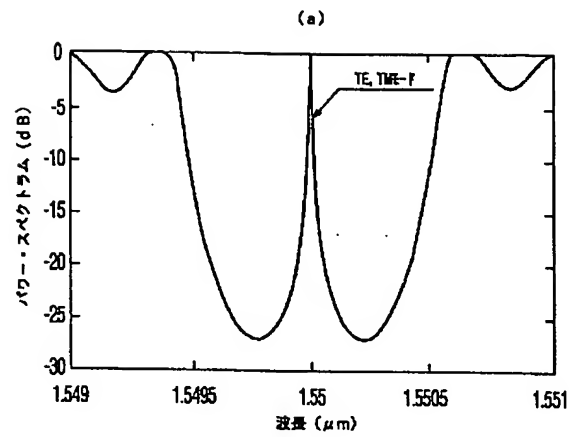
【図2】



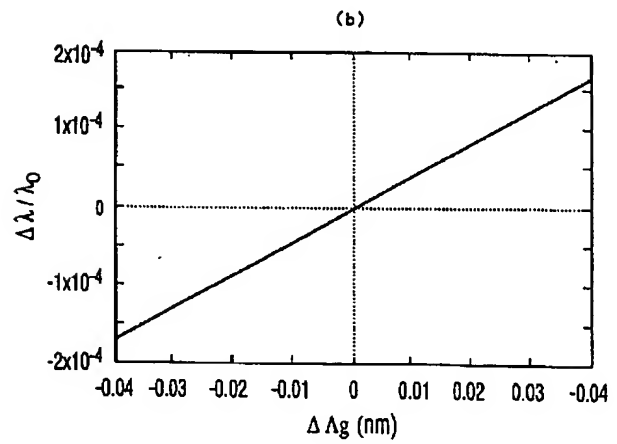
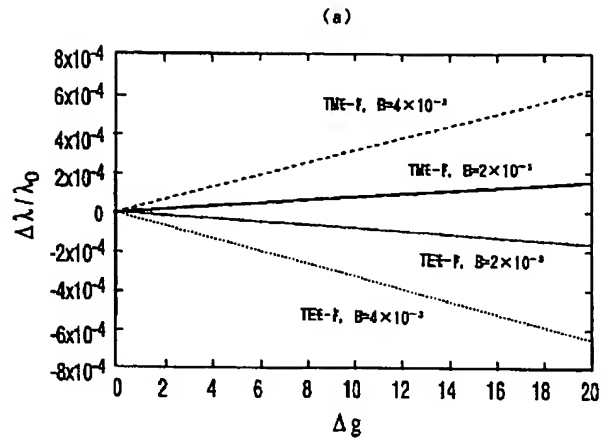
【図4】



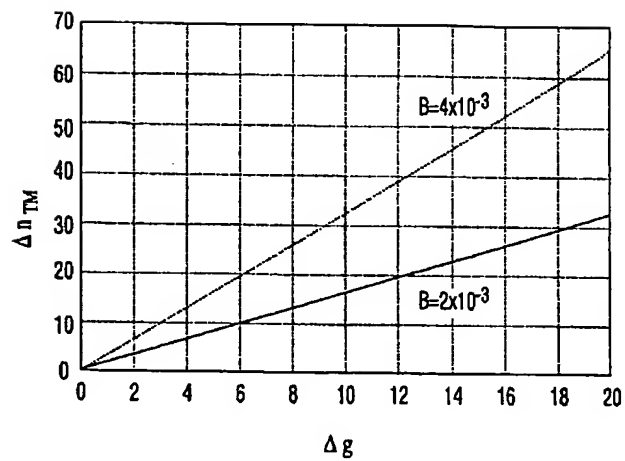
【図3】



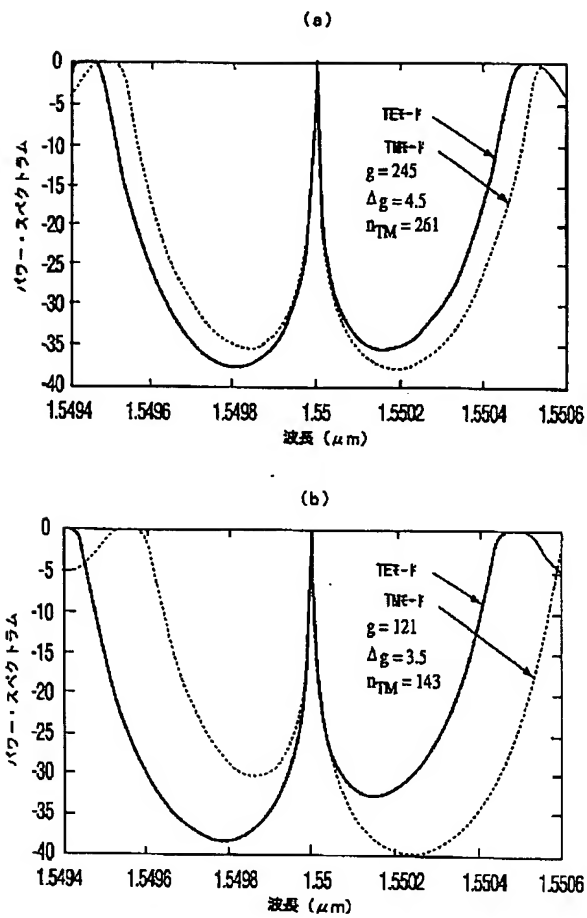
【図5】



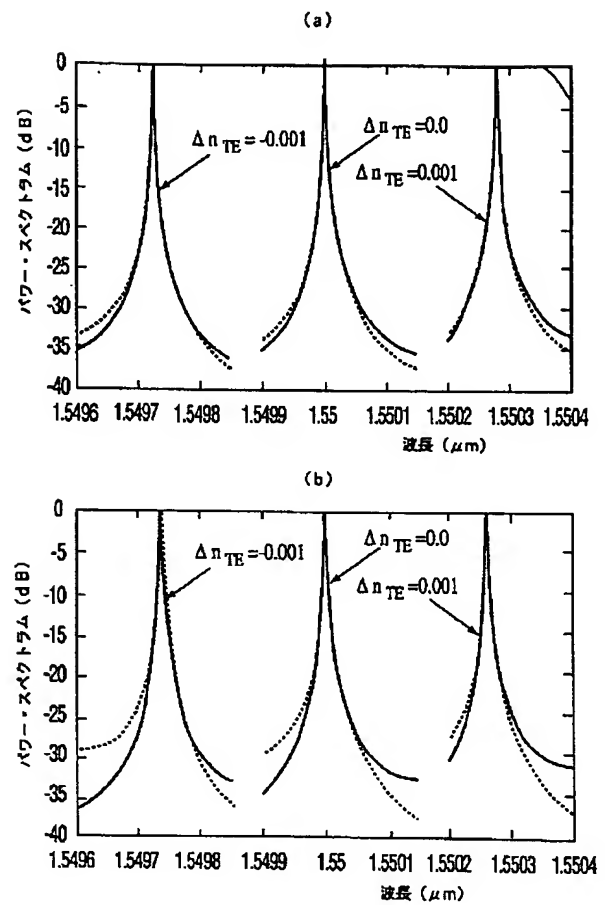
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>

H04B 10/00

識別記号

F I

(72)発明者 ウェービン フアン  
カナダ国, エヌ2エル 6アイ4, オンタ  
リオ, ウォータルー, ウェストコート プ  
レイス #82, 265

(72)発明者 キン グオ  
カナダ国, エヌ2エル 3ジー1, オンタ  
リオ, ウォータルー, シーグラム ドライ  
ブ 116-106

(72)発明者 チ ウー  
カナダ国, ケイ2ビー 7エス9, オンタ  
リオ, ネビーン, ウッドリッジ クレセン  
ト #10, 132